UDC: 519.816 DOI: https://doi.org/10.15407/jai2022.01.193

MODELING OF NATURAL INTELLIGENCE AND DYNAMICS OF HUMAN THINKING WITH THE USE OF SIGNIFICANT COMBINARY SPACE

N. Tymofijeva
International Scientific and Training Center for Information Technologies and Systems of National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Ukraine
Akadem. Glushkov prosp, 40, Kyiv, 03187
TymNad@gmail.com
http://orcid.org/0000-0002-0312-1153

Abstract. To create artificial intelligence, it is necessary to identify the properties of natural and develop a way to model it. There are many definitions of artificial intelligence in the literature, but there is no exact definition of this science yet. Different authors model natural intelligence differently. For example, artificial intelligence is defined as the ability of a digital computer to respond to information coming to its input devices, almost as a certain person reacts in the same information environment. This approach is based on the principle of self-organization of the model and is called heuristic. Human intelligence is also seen as an intuitive system.

The creative process is accompanied by various manifestations of emotions, and decision-making in natural intelligence is carried out in conditions of uncertainty of various kinds. Studies show that in the problems of this class it is related to: 1) incomplete input and current information; 2) with fuzzy input information; 3) with vaguely developed rules for processing and evaluating information.

Significant combinatorial spaces, in particular significant information spaces, were used to model the dynamics of human thinking. The latter has a combinatorial nature and exists in two states: tranquility (convolute) and dynamics (deployed), which deployed from convolute. Collapsed is given by an information sign that contains the properties of the expanded space. Information is primarily related to the functioning of the human brain and is in the subconscious or consciousness in the form of images, fragments of speech and so on. The transfer of information (thoughts) is carried out with the help of deployed information space through the speech space, through gestures, movements, through writing, graphics.

Depending on the type of uncertainty, the classification of natural intelligence is given. We believe that the concept of intelligence is associated with such operations as information processing and evaluation. Based on this, human intelligence is conditionally divided into three levels: 1) a person follows the rules, which are clearly formulated and described without analysis of their accuracy (learning rules); 2) the individual analyzes information for accuracy and develops its own rules of conduct under different conditions (rules of self-study); 3) the ability for independent of existing rules of analysis, processing and evaluation of information for accuracy (rules of intuition). Partial realization of artificial intelligence is carried out through the use of self-tuning algorithms and modeling of self-organization processes in nature.

Keywords: natural intelligence, artificial intelligence, significant combinatorial spaces, combinatorial configurations, self-adjusting algorithms, self-organization in nature, uncertainty.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ДИНАМІКИ МИСЛЕННЯ ЛЮДИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗНАКОВОГО КОМБІНАТОРНОГО ПРОСТОРУ

Н.К. Тимофієва
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України, Україна
пр. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187
TymNad@gmail.com
http://orcid.org/0000-0002-0312-1153

Анотація. Для створення штучного інтелекту необхідно виявити властивості природного та розробити спосіб його моделювання. У літературі подано багато означень штучного інтелекту, але точного визначення цієї науки ще немає. Різні автори природний інтелект моделюють по-різному. Наприклад, штучний інтелект визначається як властивість цифрової обчислювальної машини реагувати на інформацію, яка поступає на її вхідні

пристрої, майже так, як реагує у тих же інформаційних умовах певна людина. Такий підхід ґрунтується на принципі самоорганізації моделі і його називають евристичний. Інтелект людини розглядається також як інтуїтивна система.

Процес творчості супроводжується різними проявами емоцій, а прийняття рішень в природному інтелекті проводиться в умовах невизначеності різного виду. Як показують дослідження, в задачах цього класу вона пов'язана: 1) з неповною вхідною та поточною інформацією; 2) з нечіткою вхідною інформацією; 3) з нечітко розробленими правилами обробки та оцінки інформації.

Для моделювання динаміки мислення людини використано знакові комбінаторні простори, зокрема знакові інформаційні простори. Останній має комбінаторну природу та існує в двох станах: спокої (згорнутому) та динаміці (розгорнутому), який розгортається із згорнутого. Згорнутий задається інформаційним знаком, який містить властивості розгорнутого простору. Інформація перш за все пов'язана з функціонуванням людського мозку і перебуває в підсвідомості чи свідомості у вигляді образів, фрагментів мовлення тощо. Передача інформації (думки) проводиться за допомогою розгорнутого інформаційного простору через мовленнєвий простір, завдяки жестам, рухам, за допомогою письма, графічних зображень.

У залежності від типу невизначеності наведено класифікацію природного інтелекту. Вважаємо, що з поняттям інтелекту пов'язані такі операції як обробка та оцінка інформації. Виходячи з цього, інтелект людини умовно розділено на три рівні: 1) людина виконує правила, які чітко сформульовано та описано без аналізу на їхню точність (правила навчання); 2) індивідуум аналізує інформацію на точність і розробляє свої правила поведінки за різних умов (правила самонавчання); 3) здатність до незалежного від існуючих правил аналізу, обробки та оцінки інформації на точність (правила інтуїції). Часткова реалізація штучного інтелекту проводиться завдяки використанню самоналагоджувальних алгоритмів та моделювання процесів самоорганізації в природі.

Ключові слова: природний інтелект, штучний інтелект, знаковий комбінаторний простір, комбінаторні конфігурації, самоналагоджувальні алгоритми, самоорганізація в природі, невизначеність.

Вступ

У роботі описано один спосіб моделювання природного інтелекту людини з використанням комбінаторного аналізу. Показано, що динаміка мислення описується знаковим комбінаторним простором, який існує в двох станах: спокої та динаміці. Подано класифікацію природного інтелекту та виділено кілька його рівнів.

Постановка проблеми

У літературі описано багато способів моделювання природного інтелекту людини та динаміки мислення. Ці підходи використовуються для створення штучного інтелекту. Але, незважаючи на великі напрацювання в цій галузі, теорії штучного інтелекту поки не створено.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для створення штучного інтелекту необхідно виявити властивості природного інтелекту та розробити спосіб його моделювання. У літературі подано багато означень штучного інтелекту, але точного визначення цієї науки ще немає. Під інтелектом розуміють здатність пізнавати навколишній світ та вирішувати різноманітні проблеми. Як синонімом користуємося поняттям «розум», яке виражає здатність мислити, тобто аналізувати й робити висновки. Одним з понять штучного інтелекту вважають формалізацію проблем та завдань, які подібні до дій, що виконує людина. Різні автори природний інтелект моделюють по-різному. Наприклад, у [1] штучний інтелект визначається як властивість цифрової обчислювальної машини реагувати на інформацію, яка поступає на її вхідні пристрої, майже так, як реагує в тих же інформаційних умовах певна людина. Такий підхід ґрунтується на принципі самоорганізації моделі і його називають евристичний. У роботі [2] інтелект людини розглядається як інтуїтивна система. Тобто, під інтуїцією розуміють процес оптимального прийняття рішень по відношенню до зовнішнього середовища.

Мета дослідження

З використанням інформаційного простору, який задається аксіомами, що характерні знаковим комбінаторним просторам, побудовано математичну модель динаміки мислення людини. Інтуїція розглядається як спосіб прийняття рішень в умовах невизначеності за правилами, які формалізувати досить складно.

Комбінаторні конфігурації та комбінаторні множини

Оскільки стаття стосується комбінаторних просторів, розглянемо деякі влас-

тивості їх точок – комбінаторних конфігурацій. Вони формуються з елементів заданої множини характерною для їхнього типу операцією. Одні з цих операцій змінюють порядок розміщення в них елементів, інші змінюють їхній склад. Тобто, під комбінаторною конфігурацією розуміємо будь-яку сукупність елементів, яка утворюється з усіх або з деяких елементів базової множини $A = \{a_1, ..., a_n\}$ [3]. Позначимо її упорядкованою множиною $w^k = (w_1^k, ..., w_\eta^k)$, $\eta \in \{1, ..., n\}$ – кількість елементів у w^k, $W = \{w^k\}_1^q$ – множина комбінаторних конфігурацій. Верхній індекс k ($k \in \{1, ..., q\}$) у w^k позначає порядковий номер w^k у W, q – кількість w^k у W. Рекурентним комбінаторним оператором назвемо сукупність правил, за допомогою яких з елементів базової множини A утворюється комбінаторна конфігурація w^k. Різноманітні типи комбінаторних конфігурацій утворюються за допомогою трьох рекурентних комбінаторних операторів: вибирання $\alpha(A^0)$, $A^0 \subseteq A$; транспозиція

$$\alpha'(w_j^k, w_l^k),$$

де $w^k = (w_1^k, ..., w_n^k)$ – перестановка; арифметичний $\alpha''(w_j^k - x_t, w_l^k + \tilde{x}_s)$,

де $x_t, \tilde{x}_s \in \{1, ..., n-1\}$, $\sum_{j=1}^{p} x_j = \sum_{j=1}^{p'} \tilde{x}_j = x$, $x < n$, $\{w_j^k, w_l^k, x_t, \tilde{x}_s, x\} \in N$, $\{t, s, p, p'\} \in \{1, ..., n-1\}$.

При моделюванні динаміки мислення з використанням комбінаторики мають місце вибірки. Розглянемо ці комбінаторні конфігурації. Нехай задано множину $A = \{a_1, ..., a_n\}$. З неї одержимо η-вибірку. Число η називають об'ємом вибірки. В η-вибірках в залежності від умов задачі або ураховується порядок розташування в них елементів (тоді їх називають η-перестановками або η-розміщеннями), або не ураховують. У цьому випадку вони називаються η-сполученнями. Інколи перестановкою називають упорядковану вибірку з n елементів множини A по n. Множину всіляких неупорядкованих вибірок (сполучень), яка містить одну пусту, називають ще множиною всіх підмножин. Оскільки потужність множини неупорядкованих вибірок без повторень дорівнює 2^n, то її порівнюють з бінарними послідовностями. Сполученням назвемо неупорядковану вибірку з n елементів по η, у якій можна як допускати, так і не допускати повторень $\eta \in \{1, ..., n\}$. Якщо у множині сполучень без повторень не існує $w = \varnothing$, тоді їхня кількість дорівнює $2^n - 1$.

Множина W складається з підмножин ізоморфних комбінаторних конфігурацій W_η (ізоморфні комбінаторні конфігурації містять однакову кількість елементів). У множині W, елементи якої утворені кількома рекурентними комбінаторними операторами, виділимо підмножину $W^* \subset W$, будь-який елемент якої утворюється одним типом рекурентних комбінаторних операторів, та підмножини $W^{**} \subset W$, комбінаторні конфігурації яких утворено із $w \in W^*$ іншим типом. Назвемо $W^* \subset W$ базовою підмножиною множини W. Комбінаторні конфігурації можуть бути впорядковані як випадково (безладно), так і за строгими правилами. Одним із таких правил є властивість періодичності, яка випливає з рекурентного способу утворення $w^k \in W$ та полягає в тому, що їхні множини упорядковані інтервалами, в кожному з яких комбінаторні конфігурації утворюються за одними і тими самими правилами. Для генерування комбінаторних множин використаємо рекурентно-періодичний метод, у якому реалізовано ці положення [3].

Сформулюємо три правила, за якими утворюються:

а) інтервал нульового рангу;

б) обмежувальна комбінаторна конфігурація (перша в інтервалі нульового рангу);

в) інтервал σ-го рангу, де σ – кількість таких рангів.

У процесі впорядкування комбінаторних конфігурацій з використанням властивості періодичності за допомогою оговорених правил утворюється комбінаторна

множина, яка містить у собі менші, подібні підмножини, тобто вона – самоподібна, що характерно для фрактальних структур.

Згідно з властивістю самоподібності, інтервал σ-го рангу упорядкованої множини W складається з інтервалів $(\sigma-1)$-го рангу. Оскільки число n може набувати довільних значень, то W для n фіксованого – скінченна, а для n довільного – нескінченна, тобто вона одночасно – скінченна та нескінченна, Підмножина W_η розміщень з повтореннями (або сполучень з повтореннями, розбиття n-елементної множини на підмножини з повтореннями) – скінченна, а множина W цих же комбінаторних конфігурацій для того ж самого n – нескінченна. Із цього випливає, що комбінаторні множини мають фрактальну природу.

Невизначеність, яка виникає в процесі прийняття рішень людиною

Із наведеного випливає, що інтелект людини розглядають як систему, яка сприймає зовнішнє середовище, аналізує інформацію і в залежності від цього приймає рішення про виконання. Але процес мислення в людини може проходити без зовнішньої дії та без обов'язкових вказівок до виконання рішення певним органам. Процес творчості супроводжується різними проявами емоцій, а прийняття рішень в природному інтелекті проводиться в умовах невизначеності різного типу.

У літературі, як правило, досліджують ситуацію невизначеності, пов'язану з неповною вхідною, поточною та нечіткою інформацією. Але невизначеність в теорії прийняття рішень, зокрема в комбінаторній оптимізації, має інші прояви. Вона пов'язана з неоднозначністю результату, одержаного за змодельованою цільовою функцією або вибраною мірою подібності у разі нечіткої вхідної інформації, який не задовольняє меті дослідження; з вибором способу оцінки точності роботи певного алгоритму; з особливою структурою множини комбінаторних конфігурацій, що є аргументом цільової функції; з нечітко розробленими правилами обробки та оцінки інформації; з неоднозначністю при виборі оптимального розв'язку за кількома критеріями в багатокритеріальній оптимізації та іншими.

Вирішення цієї ситуації проводиться різними способами в залежності від її видів.

Оскільки задачі цього класу зводяться до задач комбінаторної оптимізації, аргументом цільової функції в яких є комбінаторні конфігурації, то ситуація невизначеності може бути пов'язана з особливою структурою їхніх множин. Цей вид невизначеності виникає внаслідок того, що комбінаторна множина складається з підмножин ізоморфних комбінаторних конфігурацій і на певному їхньому впорядкуванні закономірність зміни значень змодельованої цільової функції однакова, незалежно від вхідних даних, а результат розв'язку задачі – неоднозначний. Для виходу з цієї ситуації уводяться кілька цільових функцій або оптимізація проводиться за кількома критеріями, які зводяться до зваженого критерію (лінійної згортки).

Для вирішення ситуації невизначеності при неповній вхідній та поточній інформації уводяться в процесі розв'язання задачі формальні параметри, за допомогою яких генерується допоміжна поточна інформація, яку неможливо задати у вхідних даних.

У розпізнаванні, крім кількості операцій, затрачених на знаходження глобального розв'язку, ураховуються і міри подібності, які в задачах цього класу відіграють основну роль і від вибору яких в значній мірі залежить сам розв'язок. У цьому разі при вирішенні ситуації невизначеності використовуються способи зведення нерозв'язних задач до розв'язних.

Отже, прийняття рішень в природному інтелекті, як показують спостереження, проводиться в умовах невизначеності таких типів:

1) неповна вхідна та поточна інформація;
2) нечітка вхідна інформація;
3) нечітко розроблені правила обробки та оцінки інформації.

Знаковий інформаційний простір та динаміка мислення людини

На основі правил генерування комбінаторних конфігурацій побудуємо комбі-

наторні простори. У процесі мислення людини проводиться вибірка певних об'єктів з пам'яті, тобто спостерігаємо перебір варіантів. Там, де є перебір, там мають місце закони комбінаторики. Тому змоделюємо динаміку мислення людини з використанням знакових комбінаторних просторів, зокрема знакових інформаційних просторів. Наведемо аксіоми оговорених просторів [4].

1. Знакові комбінаторні простори існують в двох станах: спокої (згорнутий) та динаміці (розгорнутий).

2. Згорнутий простір задається інформаційним знаком $\Re = < A, T, P, \Xi >$, який містить властивості розгорнутого простору певного типу, де A – одна або кілька базових множин, з елементів $a_{l_j} \in A_l \subset A$ яких утворюються розгорнуті комбінаторні простори, $j \in \{1,...,n\}$, $l \in \{1,...,\tilde{q}\}$, $\tilde{q}$ – кількість базових множин, T – тип комбінаторного простору, P – правила його розгортання, Ξ – правила згортання знакового комбінаторного простору.

3. Утворення із згорнутого розгорнутих комбінаторних просторів проводиться за рекурентними правилами. Точкою розгорнутого простору є комбінаторна конфігурація певного типу. Розгортанню комбінаторного простору характерна властивість періодичності, яка випливає з рекурентного способу утворення та впорядкування комбінаторних конфігурацій.

4. Згортання знакового комбінаторного простору певного типу проводиться з точок як одного, так і кількох просторів. Згорнутий простір має властивості просторів, з яких він згорнувся.

Точкою знакових комбінаторних просторів є різні типи комбінаторних конфігурацій, зокрема вибірки, які можуть бути як упорядковані, так і неупорядковані.

Оскільки інтервал σ-го рангу комбінаторної множини, відповідно і комбінаторного простору, що упорядковані за строгими правилами, складається з інтервалів $(\sigma - 1)$-го рангу, а інтервал 1-го рангу – з інтервалів нульового рангу, нескладно, знаючи правила їхнього впорядкування, визначати кількість комбінаторних конфігурацій у їхній множині. За певними правилами, які різні для різних типів комбінаторних конфігурацій, утворюємо скінченну послідовність, кожне значення якої задає кількість w в інтервалах σ-го рангу. Ці послідовності містять числа Фібоначчі, відповідно і "золоте" число. Золотий перетин, "золоте" число, число Фідія, число Бога відоме з давніх віків і постійно проявляється у природі та мистецтві [5]. Науково підтверджено, що це число вносить гармонію і красу там, де воно присутнє. В природі воно проявляється через числа Фібоначчі. Це говорить про те, що таким просторам властива гармонія. Оскільки точкою знакового інформаційного простору є розміщення з повтореннями, то ясність мислення проявляється для упорядкованої їхньої множини, де присутнє "золоте" число. Якщо правила розгортання ґрунтуються на строгих законах, то знаковий розгорнутий комбінаторний простір є структурований. Якщо правила розгортання простору не підпорядковані строгим законам, то розгорнутий простір утворюється безладно. Хаотично впорядковані множини вносять безлад у мислення людини.

Сформулюємо математичну модель інформаційного простору [4].

Як і знаковий комбінаторний, так і знаковий інформаційний простір має комбінаторну природу та існує в двох станах: спокої (згорнутий) і динаміці (розгорнутий). Згорнутий задається інформаційним кодом $\Re = < A, T, P, \Xi >$, який містить властивості розгорнутого простору, де $A = \{A_1,..., A_n\}$ – одна або кілька базових множин, T – тип комбінаторної конфігурації (точка простору), P – система правил, за якою він розгортається (за строгими законами або хаотично), Ξ – правила його згортання з розгорнутого (одного або кількох).

Інформація перш за все пов'язана з функціонуванням людського мозку і перебуває в підсвідомості чи свідомості у вигляді образів, фрагментів мовлення тощо. Вважатимемо, що згорнутий інформаційний простір – це підсвідомість, елементи a_{l_j} базових множин $A_l \subset A$ – образи, фра-

гменти мовлення тощо, $l = \overline{1, q}$, q – кількість базових множин, $j = \overline{1, n}$, n – кількість елементів у A_l. Активизується підсвідомість мисленням системою правил P, завдяки якій із елементів базових множин розгортається частково розгорнутий інформаційний простір – свідомість, що характеризується поняттями, думкою, а комбінаторна конфігурація в ньому є розміщення з повтореннями. Передача інформації (думки) проводиться за допомогою розгорнутого інформаційного простору через мовленнєвий простір, завдяки жестам, рухам, за допомогою письма, графічних зображень. Згортання інформаційного простору із розгорнутих мовленнєвого та різних звукових просторів проводиться слуховим апаратом, а образів – зоровим апаратом.

Інформаційний простір, який існує поза межами людського організму та створений людиною, назвемо штучним інформаційним простором. Він також існує в двох станах: спокої і динаміці. Книги, рукописи, електронні бібліотеки – штучний згорнутий інформаційний простір. Для його розгортання необхідно знати певні правила (правила читання, доступу до електронних бібліотек тощо). Якщо знаковий інформаційний простір розгортається за строгими законами, то це буде чітке (впорядковане) мислення. У іншому разі прийняття оптимального рішення може бути нечітким (невпорядкованим) по відношенню до законів природи.

Класифікація природного інтелекту

У залежності від виду невизначеності наведемо класифікацію природного інтелекту. Вважатимемо, що з поняттям інтелекту пов'язані такі операції як обробка та оцінка інформації. Тоді інтелект людини умовно розділимо на такі рівні:

I рівень. Людина виконує правила, які чітко сформульовано і описано в книгах та підручниках або передаються від учителів, без аналізу на їхню точність. Назвемо їх *правилами навчання.* У цьому випадку за допомогою правил розгортання інформаційного простору (мислення) останній розгортається із чітких фрагментів чи образів, а ситуація невизначеності зведена до мінімуму. На сьогоднішній день існує багато програм і пристроїв-роботів, які працюють за чітко розробленими правилами. Якщо не враховувати емоції, що характерні для вищих живих організмів, то інтелект I рівня на даний час частково реалізовано.

II рівень. У процесі життєдіяльності індивідуум аналізує інформацію на точність і розробляє свої правила поведінки за різних умов, які ґрунтуються на попередньому власному досвіді. Ці правила можуть бути і неточними. Назвемо їх *правилами самонавчання*. У цьому разі інформаційний простір розгортається не лише із фрагментів, які сформувалися в процесі навчання, а й додаткової поточної інформації, яка генерується з урахуванням прогнозу майбутніх результатів. Завдяки логічному мисленню індивідууму невизначеність може бути зведена до мінімуму. Інтелект 2-го рівня завдяки самоналагоджувальним алгоритмам частково реалізовано.

III рівень. Здатність до незалежного від існуючих правил аналізу, обробки та оцінки інформації на точність, розроблення нових точних правил поведінки в умовах невизначеності, які максимально враховують прогноз майбутніх результатів. Тобто, прийняття рішення в умовах невизначеності на рівні інтуїції за правилами, які складно формалізувати. Вважаємо, що інтуїція – це чіткі правила мислення, які на сьогодні не формалізовано і які закладено на генетичному рівні. Таким особливим мисленням володіє обмежена категорія людей. Назвемо ці правила *правилами інтуїції*.

Інтелект III-го рівня реалізувати досить складно, хоча вважають, що цей рівень є справжнім інтелектом. Цей рівень може реалізувати людина з найвищим рівнем інтелекту.

Самоналагоджувальні алгоритми, які використовуються при вирішенні ситуації невизначеності в штучному інтелекті

Розглянемо самоналагоджувальні алгоритми, які можна використати при роз-

робці штучного інтелекту з урахуванням особливостей природного інтелекту.

Для різних прикладних задач ситуація невизначеності, яка пов'язана з неповною вхідною та поточною інформацією, вирішується по-різному. У одних випадках проводиться аналіз поведінки системи за певний проміжок часу з подальшим встановленням деякої закономірності, яка враховується при прогнозуванні майбутніх результатів на поточному відрізку часу. У інших випадках використовують експертні системи. Для виходу із ситуації невизначеності використовуємо самоналагоджувальні алгоритми [6].

Жива природа являє собою самопристосовну (адаптивну) систему. Аналогічно з живою природою в теорії управління розроблено аналогічні адаптивні системи автоматичного керування [7-8]. У цих системах автоматично змінюється алгоритм керування з метою збереження показників якості при довільному зміщенні характеристик керованого об'єкта. Самоналагоджувальна система управління може враховувати не тільки поточну інформацію, але й минулий досвід. У цьому випадку додається блок оперативної пам'яті, в якому накопичуються відомості про керований технологічний процес. Корекція програми проводиться на підставі узагальнення досвіду роботи машини-автомата. За характером змін у керуючому пристрої адаптивні системи поділяють на дві великі групи:

- самоналагоджувальні, у яких змінюються тільки значення параметрів регулятора;
- самоорганізовані, в яких змінюється структура самого регулятора.

Для вирішення ситуації невизначеності різних видів в комбінаторній оптимізації розробляються самоналагоджувальні алгоритми. У процесі своєї роботи вони автоматично змінюють ті чи інші параметри або генерують додаткову поточну інформацію з метою знаходження оптимального розв'язку у певних умовах.

Прикладні задачі комбінаторної оптимізації, як правило, складні за своєю природою і розділяються на підзадачі, для розв'язання яких розробляють незалежні алгоритми. Основна задача розв'язується послідовною роботою цих алгоритмів або вони працюють як вбудовані процедури у ітераційному режимі. У процесі їхньої роботи при переході від розв'язання однієї задачі до іншої при передачі інформації, яка є результатом розв'язку попередньої, на вході іншого алгоритму з'являються нові, невизначені параметри, які необхідні для розв'язання наступної задачі і які неможливо задати у вхідних даних за умовою. Виникає проблема знаходження параметрів в умовах невизначеності.

Для повної автоматизації процесу знаходження оптимального результату та зведення невизначеності до мінімуму розробляються самоналагоджувальні алгоритми генерування параметрів, які необхідно задавати як вхідні дані для розв'язання чергової задачі і які неможливо задати на початку обчислювального процесу [6]. Це дозволяє в процесі розв'язання певної задачі з урахуванням попередніх результатів генерувати додаткову поточну інформацію з прогнозуванням майбутніх результатів. У цьому разі при підготовці вхідних даних уводяться формальні параметри. Дійсні параметри, за якими знаходиться оптимальний розв'язок, генеруються автоматично самоналагоджувальною програмою-генератором за розробленими правилами. Тобто, для прийняття оптимального рішення в умовах невизначеності в них реалізовано елементи прогнозування та повернення до переоцінки попереднього результату в автоматичному режимі, що характерно для штучного інтелекту.

Якщо ситуація невизначеності пов'язана з особливою структурою комбінаторних множин, то за допомогою самоналагоджувального алгоритму в процесі розв'язання задачі уводяться додаткові критерії (генеруються поточні вхідні дані). За кожним критерієм розглядаємо частковий розв'язок, для якого обчислюється часткова цільова функція. Якщо з використанням чергового критерію виникає ситуація невизначеності, уводяться додаткові змінні критерії. Вони використовуються як один раз, так і багато разів в ітераційному режимі.

Знаходження оптимального розв'язку проводиться самоналагоджувальними алгоритмами з урахуванням постійних та змінних критеріїв, які уводяться в процесі розв'язання задачі, що дозволяє генерувати додаткову поточну інформацію (критерії якості), яка впливає на прогнозування майбутніх результатів. Як критерій вибору при визначенні пари кандидатів на включення в деяку підмножину розбиття w запишемо зважену цільову функцію (лінійну згортку) $F(w)=\sum_{l=1}^{p}\gamma_l\Phi^{(l)}(w)$, де $\gamma_l \geq 0$, а $\sum_{l=1}^{p}\gamma_l=1$ – вагові коефіцієнти, p – кількість цільових функцій $\Phi^{(l)}(w)$, які моделюються на основі змінних часткових критеріїв. Вибором значення γ_l при знаходженні оптимального розв'язку змінюється ступінь вкладу оговорених критеріїв.

Самоорганізація в природі та комбінаториці

Під самоорганізацією в природі розуміють процес спонтанного виникнення ладу із безладу та утворення фрактальних структур.

Вивченням процесів самоорганізації в природі займається синергетика. Для пояснення цього явища існує багато теорій, зокрема теорія самоорганізованих зростаючих автоматів. Теорія автоматів ґрунтується на ітераціях, в яких наступне значення отримується рекурсивно з урахуванням попереднього результату. Також розглядаються структури, які називають алгоритмічними.

Жива природа являє собою самопристосовну (адаптивну) систему. Під *самоорганізацією* розуміють процес спонтанного виникнення ладу із безладу (хаосу). За рахунок росту випадкових коливань при поглинанні енергії із зовнішнього середовища система досягає деякого критичного стану та переходить в новий стійкий стан з більш вищим рівнем складності та порядку в порівнянні з попереднім. Аналогічно з живою природою в теорії управління розроблено адаптивні системи автоматичного керування [7, 8]. У цих системах автоматично змінюється алгоритм керування з метою збереження показників якості при довільному зміщенні характеристик керованого об'єкта.

Самоорганізацію в природі пов'язують з процесами, які породжують фрактальні структури. Їх вивчають в математиці та фізиці. Це – звичайні процеси із зворотнім зв'язком, в яких одна і та ж операція виконується знову і знову. Результат однієї операції є початком значень наступної операції. Якщо почати ітераційний процес з деякого довільного значення x_0, то результатом буде послідовність $x_1, x_2, \ldots$, поведінку якої з часом необхідно дослідити.

Аналогічно спостерігаємо при генеруванні комбінаторних конфігурацій. Із аналізу комбінаторних множин можна побачити, що останні мають різноманітне впорядкування як хаотичне, так і строге, виконане за певними правилами. Тобто, множини комбінаторних конфігурацій одного і того ж типу упорядковуються різними способами. Частина з них генерується випадковими алгоритмами. У цьому разі отримана структура – безладна (хаотична). Якщо вони впорядковуються за строгими правилами, в яких використано рекурсію, то отримуємо фрактальну структуру. Як показує аналіз комбінаторних множин, існують певні закономірності їхнього впорядкування. Одна з таких закономірностей, що характерна для різних типів комбінаторних конфігурацій, є властивість періодичності. Вона випливає з рекурентного способу їхнього утворення та полягає в тому, що ці множини упорядковані інтервалами, в кожному з яких комбінаторні конфігурації утворюються за одними і тими самими правилами. Якщо провести аналіз деяких відомих у літературі алгоритмів генерування комбінаторних конфігурацій, то можна помітити, що в них на інтуїтивному рівні закладені правила впорядкування, що ґрунтуються на цій властивості. Отримані комбінаторні множини *самоподібні*, тому що їхні елементи утворюються одним і тим же рекурентним комбінаторним оператором, а їхнє впорядкування проводиться за одними і тими ж правилами. Одночасно вони є як скінченними, так і нескін-

ченними. Така властивість характерна для фракталів. Відповідно, утворені комбінаторні множини характеризуються фрактальною структурою. Як було обговорено вище, природним просторам властиві аксіоми знакових комбінаторних просторів. Тому з використанням правил упорядкування комбінаторних множин проводиться спроба пояснити самоорганізацію в природі.

Якщо порівняти процес самоорганізації ладу із безладу, то він подібний до процесу розгортання знакових природних просторів за строгими законами. У обох випадках процес є рекурсивний, проводиться пошук оптимального стану за строгими правилами. Цьому процесу характерна властивість періодичності.

Висновки

При моделюванні природного інтелекту людини важливо розробити його класифікацію, враховувати ситуацію невизначеності, яка має місце при прийнятті оптимальних рішень.

У процесі мислення людини обираються необхідні об'єкти з пам'яті, тобто спостерігаємо перебір варіантів, що властиво комбінаториці. Тому для моделювання динаміки мислення людини використано знакові комбінаторні (інформаційні) простори. Розгорнутий простір задається розміщенням з повтореннями. Ця конфігурація одночасно є скінченною і нескінченною та визначає нечіткість інформації. Отже, знакові комбінаторні простори мають фрактальну природу, можуть бути впорядковані як хаотично, так і за строгими правилами. У процесі самоорганізації в природі відтинається те, що не відповідає фундаментальним природним законам та встановлюється лад, можливо і за законами комбінаторики.

References

1. Amosov N.M. (1979) Algoritmy razuma. Kiev. Nauk. dumka.

2. Kocjakov Ju.B. (2001) Moj mozg. Srtoeniie, printsipy raboty, modeliroovanie. M:. SINTEG.

3. Tymofijeva N.K. (2021) Vykorystannja vlastyvosti periodythnosti dlja generuvannja kombinatornyx konfiguratsi'j. Systemy keruvannja ta kompjutery (USiM, Control systems & computers), №1(291). S.15–28. doi.org/10.15407/csc.2021.01.015.

4. Tymofijeva N.K. (2015) Znakovi kombinatorni prostory ta shtuchy'j intelekt Shtuchny`j intelekt, 67-68 (1-2). 180 –189.

5. Ferdinano Korbalan. (2014) Zolotoje sethenije. Matematitheski'j jazyk krasoty. Mir матematiki v 40 t [per. z anhl.]. M.: De Agoctini, (1).

6. Tymofijeva N.K. (2009) Samonalagodjuvalni algorymy znaxodjennja nevyznathnyx parametriv u zaadahax kombinatornoi optymizatsii. USiM. №4 S.43 – 47.

7. Jurevyth E.I. (2007) Teorija avtomatithesrkogo upravlnija. STb.: BXV Peterburg/.

8. Kozlov Ju.M., Jusupov P.M. (1969) Bespoiskovye samonastraivajushiesja sistemy. M.: Nauka.

Література

1. Амосов Н.М. (1979) Алгоритмы разума. Киев. Наук. думка.

2. Косяков Ю.Б. (2001). Мой мозг. Строение, принципы работы, моделирование. М:. СИНТЕГ.

3. Тимофієва Н.К. (2021) Використання властивості періодичності для генерування комбінаторних конфігурацій. Системи керування та комп'ютери (УСіМ, Control systems & computers), №1(291). С. 15–28. doi.org/10.15407/csc.2021.01.015.

4. Тимофієва Н.К. (2015) Знакові комбінаторні простори та штучний інтелект. Штучний інтелект, 67-68, (1-2). 180–189.

5. Фернандо Корбалан. (2014) Золотое сечение. Математический язык красоты. Мир математики в 40 т. Пер. с англ. М.: Де Агостини. (1).

6. Тимофієва Н.К. (2009) Самоналагоджувальні алгоритми знаходження невизначених параметрів у задачах комбінаторної оптимізації. УСиМ.. № 4. С.43 – 47.

7. Юревич Е.И. (2007) Теория автоматического управления. СПб.: БХВ, Петербург.

8. Козлов Ю.М., Юсупов Р.М. (1969) Беспоисковые самонастраивающиеся системы.
М.: Наука.

Стаття надійшла до редакції 26.01.22
Після обробки 15.02.22